



Fisiología del Deporte

Belén Hidalgo Valls



El músculo
esquelético

Adaptaciones
fisiológicas al
ejercicio

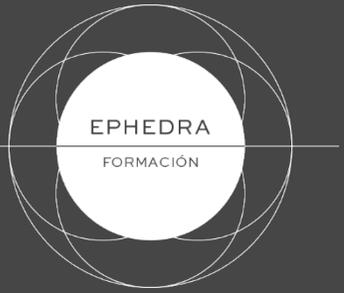
Hormesis



Músculos

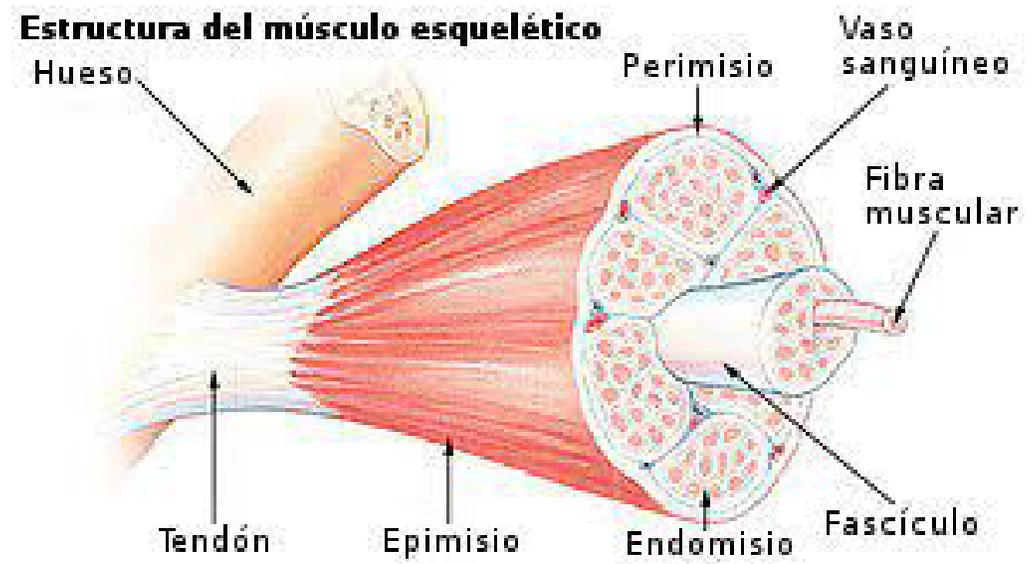
- **Estriado** (filamentos actina y miosina organizados en sarcómeros, aspecto estriado)
 - Cardíaco: el corazón bombea sangre a través de la musculatura
 - Esquelético : unidos a los huesos, permiten movimiento

- **Liso**: filamentos de actina y miosina se contraen contrayendo los vasos sanguíneos y moviendo los órganos del cuerpo



Características del músculo esquelético

1. Formado por fascículos musculares y éstos formados por fibras.





Características del músculo esquelético

2. Plasticidad: responde a demandas fisiológicas y es responsable de una buena parte de la masa corporal.

3. Acción sinérgica: muchos movimientos se deben a la acción de pares musculares con acciones opuestas (contracción-relajación).

- ⑩ Evita lesiones y luxaciones
- ⑩ Estabiliza articulaciones

Contracción muscular

- Para la contracción muscular se necesita un aporte continuado de adenosin trifosfato (ATP)





Tipos de contracción muscular

Isotónica

La tensión generada se mantiene constante aunque cambia la longitud de las fibras

Isométrica

El músculo genera tensión y se contrae manteniendo una longitud constante

Tipos de contracción isotónica

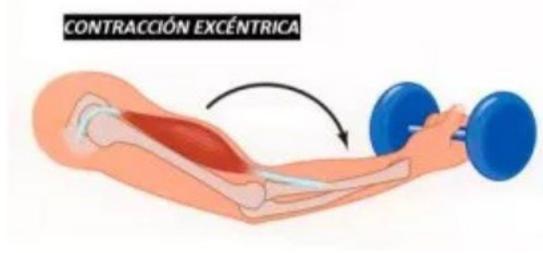
Concéntrica

los músculos se acortan mientras se genera la fuerza



Excéntrica

los extremos del músculo se alejan mientras se genera la fuerza





Funciones del músculo esquelético

1. Función estructural
2. Capacidad de contracción (provoca movimiento)
3. Funciones homeostáticas:
 - Genera y acumula calor
 - Almacena reservas energéticas
 - Participa en el mantenimiento ácido-base



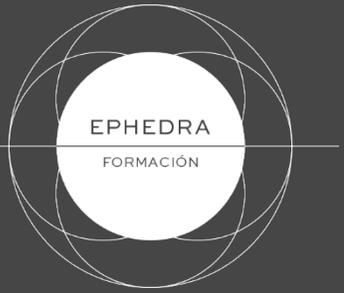
Adaptaciones fisiológicas al ejercicio físico

Satisfacer las demandas aumentadas de:

- Oxígeno
- Nutrientes
- Eliminación de productos de deshecho
- Regulación del aumento de la temperatura

Facilitando una mayor y más rápida respuesta





Adaptaciones fisiológicas al ejercicio físico

Durante el ejercicio

Adaptaciones al entrenamiento



Principales adaptaciones al ejercicio



1. Adaptaciones cardiovasculares

- **Durante el ejercicio:**



- Frecuencia cardíaca: proporcional a intensidad hasta estabilizarse
- Volumen sistólico y gasto cardiaco
- Tensión arterial sistólica
- Circulación arteriolar y capilar en zonas activas pero disminuye en otras zonas (zona visceral del 50% al 10%)
- Hemoconcentración por disminución de volemia

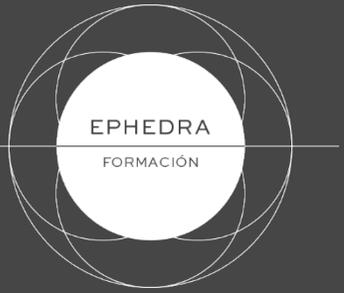


1. Adaptaciones cardiovasculares

- **Adaptaciones al entrenamiento:**



- Hipertrofia cardíaca
- Bradicardia en reposo y mejor recuperación postesfuerzo
- Angiogénesis
- Disminución de la presión arterial
- Aumento del volumen plasmático



1. Adaptaciones cardiovasculares

Pérdida de volumen sanguíneo hacia al espacio intersticial por aumento de los productos de deshecho en el espacio intersticial



Hemoconcentración



Secreción de hormona antidiurética y aldosterona



Aumento del volumen



Pseudoanemia (hematocrito)



2. Adaptaciones respiratorias

- Aumenta frecuencia respiratoria, el volumen corriente y el volumen expiratorio.
- En intensidad moderada se tiende a un estado estacionario.
- Cambios en la frecuencia respiratoria regulados por aumento de K , disminución de O_2 , aumento de CO_2 y aumento de lactato.
- La ventilación pulmonar puede pasar de:
10 litros/min a > 150 litros/min
- El sistema cardiovascular puede aumentar
6-7 veces su ritmo de trabajo

[\(1\)\(2\)](#)





3. Termoregulación

- En ambientes calurosos: pérdida de agua y en menor proporción electrolitos
- Centros termoreguladores en el hipotálamo: reciben información exterior (piel) e interior (sangre)
- Aclimatación: + evaporación (vasodilatación, + sudoración y frec. respiratoria)





3. Termoregulación

- Aumenta ADH disminuyendo la diuresis: disminuye el flujo renal pero no el filtrado glomerular
- Sed
- En ejercicio intenso: aumenta reabsorción de Na y Cl pero se excreta H⁺ (acidificación urinaria), proteinuria (aumento de permeabilidad glomerular por acidosis metabólica y reducción de absorción tubular), hematuria





4. Adaptaciones hormonales y musculoesqueléticas

- Aumento de masa muscular y fuerza estructural
- Mejor perfil lipídico
- Mejor resistencia a la insulina
- Prevención de enfermedades crónicas asociadas al estrés oxidativo
- Aumento de BDNF (factor neurotrófico derivado del cerebro)
- Aumento de perfusión pasiva de nutrientes hacia discos y cartílagos
- Mejor detoxificación hepática



Adaptaciones fisiológicas durante el ejercicio

- ↑ **Hormona de crecimiento (GH)** a mayor intensidad de esfuerzo, mayor secreción de GH: induce la síntesis de proteína, aumenta los niveles de hidratos en sangre y estimula la lipólisis, a largo plazo promueve el crecimiento y la reparación. También favorece la retención de sodio, potasio y agua, y eleva los niveles séricos de fosfato.
- ↑ **Adrenocorticotropa (ACTH) y cortisol.** El cortisol utiliza aminoácidos procedentes de la degradación de proteínas para aumentar la concentración de glucosa en plasma (gluconeogénesis). Tiene un efecto catabólico (degrada proteínas) aumentando la excreción de urea.
- ↑ **TSH** a partir de intensidades del 50% de la potencia aeróbica máxima; aunque los niveles de la tiroxina (T4) y la triiodotironina (T3) parecen no modificarse. Las hormonas tiroideas ejercen una acción calorígena y termorreguladora, estimulan la síntesis y degradación de proteínas, síntesis y degradación de las grasas, síntesis del glucógeno y utilización de glucosa.
- ↑ **Testosterona** proporcional a la intensidad del ejercicio y con ejercicios isométricos de pesas (+ síntesis proteica y masa muscular)



Adaptaciones fisiológicas durante el ejercicio

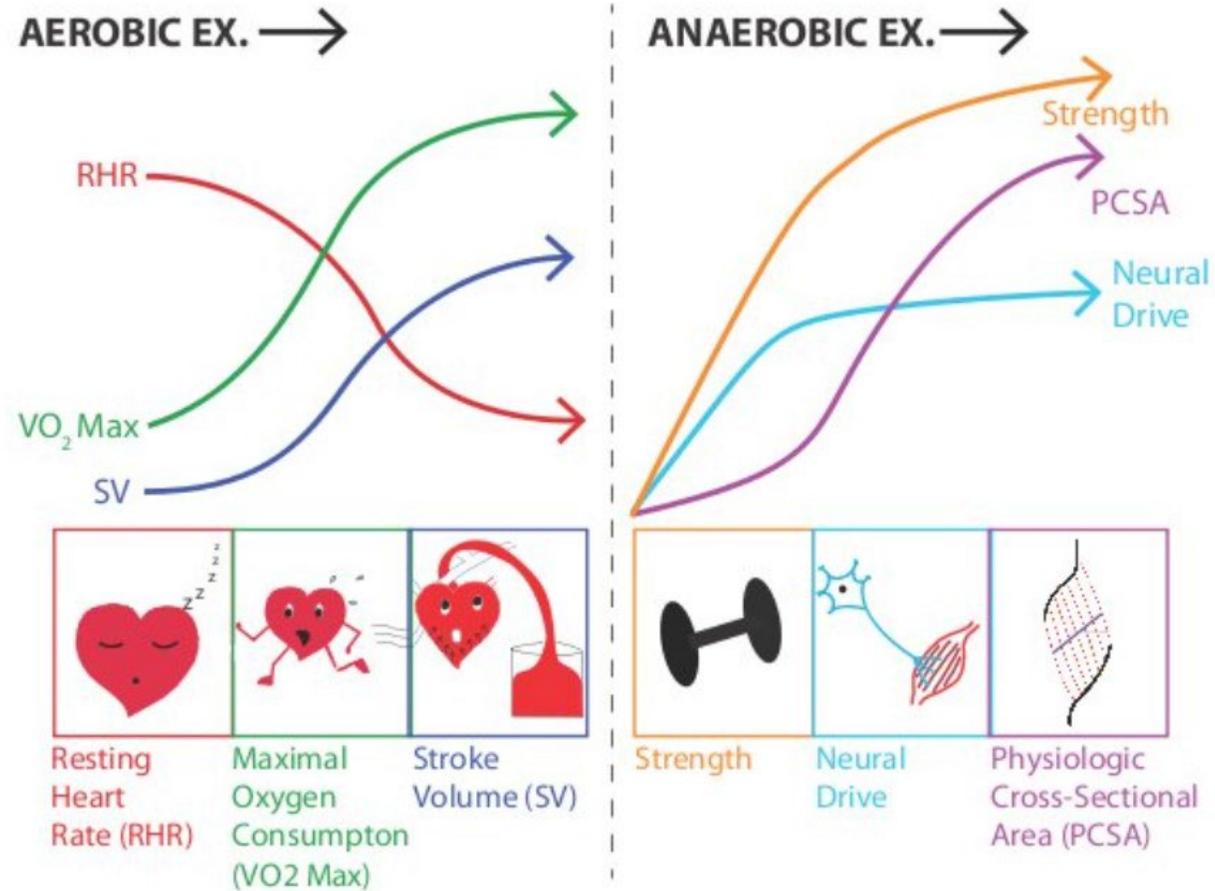
- Durante ejercicio disminuye la **insulina** y la ratio glucagón/insulina regula la producción de glucosa: aumenta de la glucogenolisis hepática y estimula la gluconeogénesis a partir del lactato, aminoácidos (procedentes de la degradación de las proteínas) y glicerol (de lipolisis).
- Durante la recuperación de un ejercicio intenso, la insulina plasmática se incrementa hasta 60 minutos postesfuerzo. Con la ingesta de carbohidratos, el aumento simultáneo de la glucosa e insulina crea un entorno favorable para la recuperación muscular.
- La insulina tiene efectos anabólicos (almacenamiento de los aminoácidos en forma de proteínas en el musculo esquelético), lipogénicos, y promueve el almacenamiento de la glucosa, especialmente en el hígado. También, promueve el crecimiento, inhibe la lipolisis extrahepática.
- **Catecolaminas (A y NA)**: En el ejercicio moderado la concentración de catecolaminas se incrementa entre 2 y 4 veces, mientras que en el ejercicio intenso lo hace entre 14 y 18 veces, tanto en el caso de la adrenalina como de la noradrenalina. Este aumento de las catecolaminas promueve a un incremento de 7 a 8 veces en la producción de glucosa.

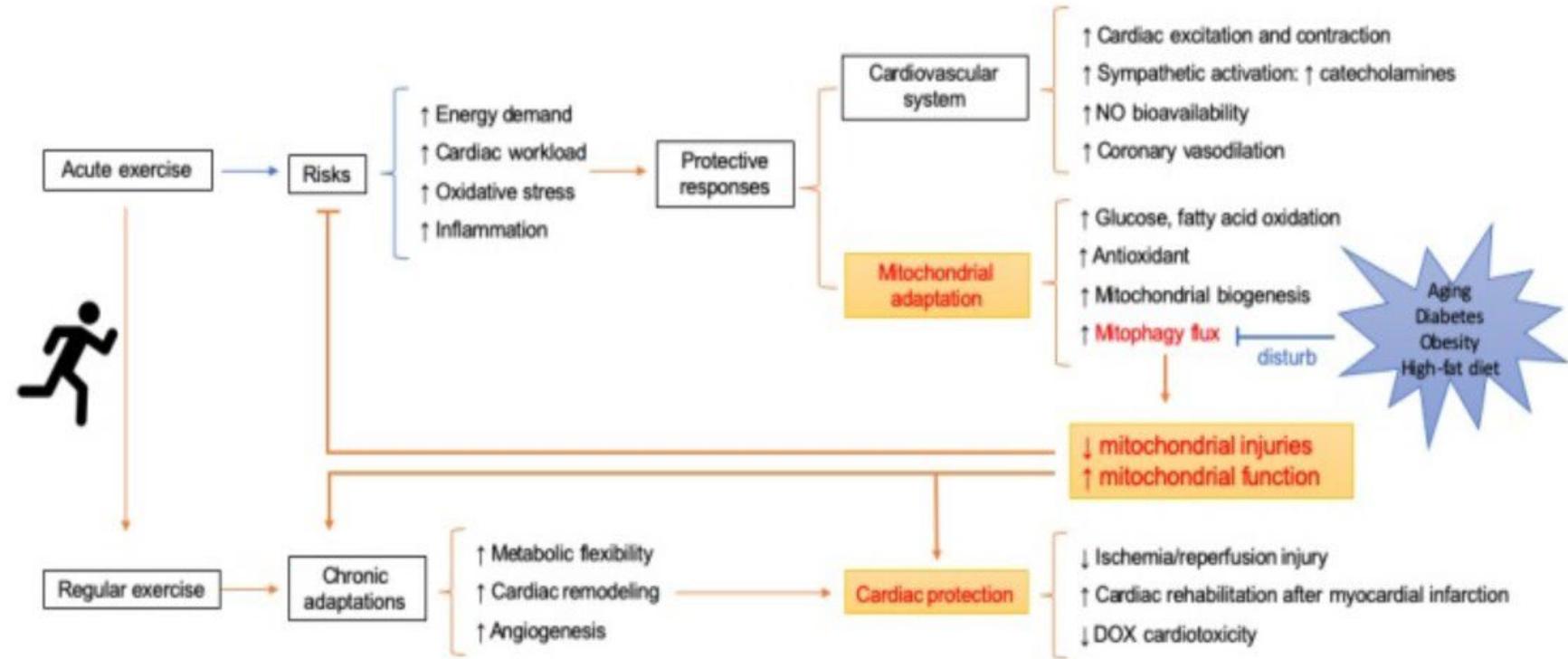


Adaptaciones fisiológicas durante el ejercicio

- El entrenamiento de *resistencia* promueve más la utilización de grasas como fuente energética, aumentando la densidad capilar, la densidad mitocondrial, las reservas de sustratos intramusculares y la actividad enzimática oxidativa.
- El entrenamiento de *fuerza* promueve una hipertrofia de las fibras musculares y un aumento de la capacidad glucolítica de las fibras rápidas.

Adaptaciones fisiológicas durante el ejercicio (Resumen)





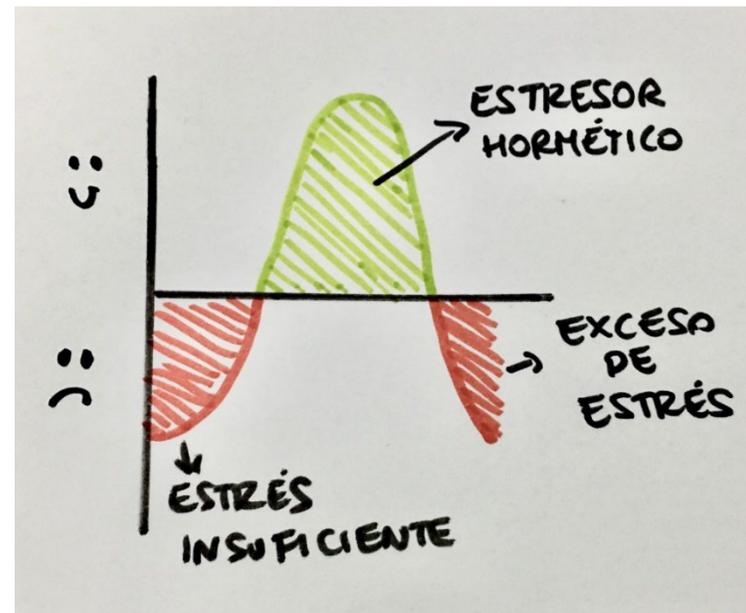
Schematic of mitochondrial adaptations in response to exercise and how it contributes to cardioprotection.

(3)



HORMESIS

Proceso por el cual se producen adaptaciones biológicas favorables en respuesta a una exposición baja continua o intermitente más alta a un factor estresante que sería dañino en dosis elevadas o crónicas.





Efecto hormético del ejercicio

- El ejercicio regular disminuye la incidencia de enfermedades asociadas a ROS (enfermedades cardíacas, diabetes tipo II, artritis reumática, Alzheimer, Parkinson y ciertos cánceres).
- El efecto preventivo del ejercicio regular, se debe (al menos en parte) a la adaptación inducida por el estrés oxidativo. Esta adaptación no sólo depende del nivel generado de ROS, sino del aumento de la actividad antioxidante de las enzimas reparadoras del daño oxidativo.



HORMETIC FACTORS

Lifestyle
exercise
dietary energy restriction
dietary phytochemicals
cognitive stimulation

Environmental Exposures
toxins
radiation
temperature
water

Intrinsic Factors
ischemia
endocrine status
neurotransmitters



CELL STRESS/SIGNALING

Free radicals
Ion fluxes
Energy depletion

↓

Receptors
Kinases and phosphatases
Deacetylases

↓

Transcription factors
Nrf-2
FOXOs
CREB
NF-κB



HORMETIC EFFECTORS

Antioxidants
superoxide dismutases
catalase
glutathione peroxidase
glutathione

Protein chaperones
HSP-70
GRP-78

Growth factors
BDNF
VEGF
bFGF

Others
mitochondrial proteins
calcium-regulating proteins



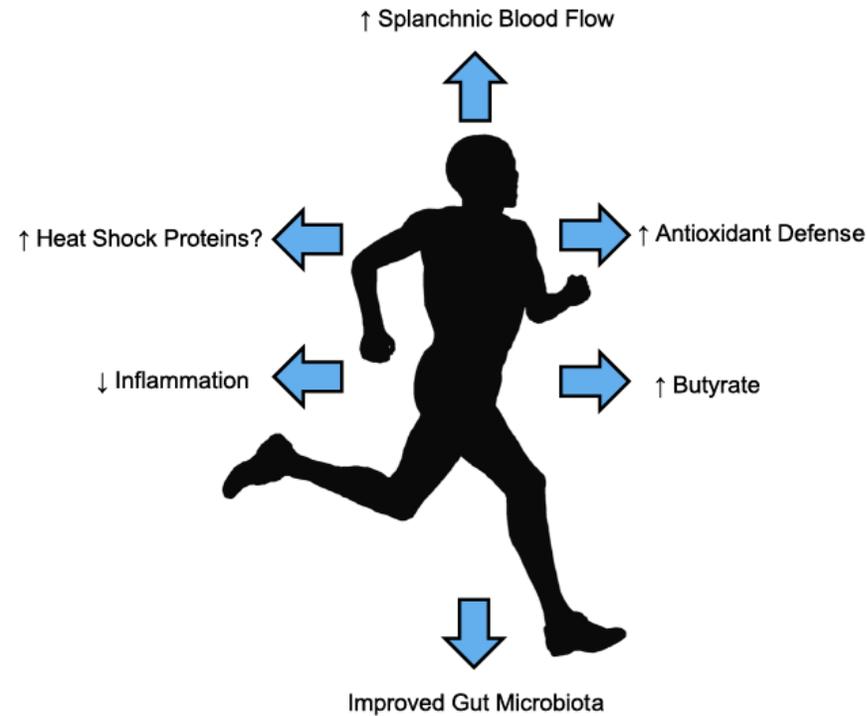
Mitohormesis

- Con la edad hay una disminución de la función mitocondrial, menor obtención de ATP y mayor producción de ROS.
- El entrenamiento con ejercicio aeróbico tiene un efecto mitohormético, estimulando una respuesta mitocondrial que hace mejorar su función, mejorando la homeostasis redox e incrementando el recambio mitocondrial y por lo tanto mejorando la salud.

Exercise-Induced Mitohormesis for the Maintenance of Skeletal Muscle and Healthspan Extension. Musci RV, Hamilton KL, Linden MA.

Sports (Basel). 2019 Jul 11;7(7):170. doi: 10.3390/sports7070170. PMID: 31336753 Review

Does Chronic Exercise Improve Gut Integrity?



AMERICAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY

**GASTROINTESTINAL
AND LIVER PHYSIOLOGY.** © 2020

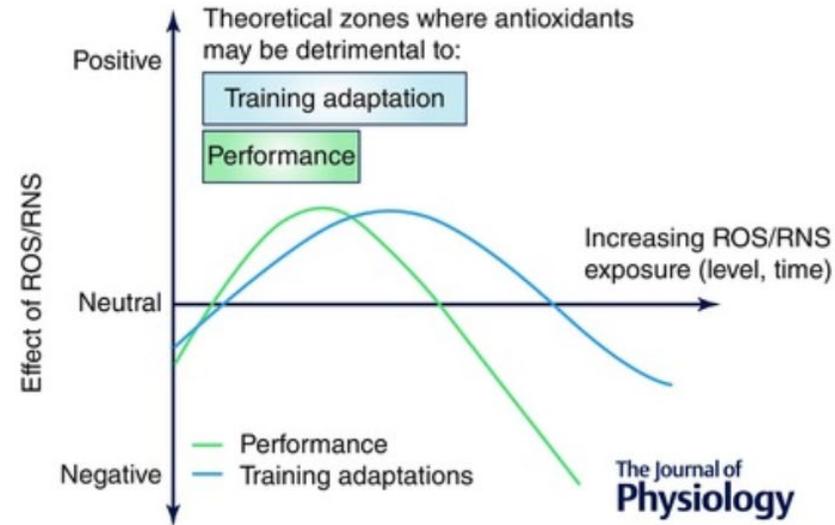
american
physiological
society

Exercise and intestinal permeability: another form of exercise-induced hormesis?

(9)

[Bryant H. Keirns](#), [Nicholas A. Koemel](#), [Christina M. Sciarrillo](#). Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol 2020 Oct 1;319(4):G512-G518. doi: 10.1152/ajpgi.00232.2020. Epub 2020 Aug 26. PMID: 32845171

¿Recomendación de antioxidantes en atletas sanos?



Non-linear/hormetic effects of ROS/RNS on exercise training adaptations and performance

Do antioxidant supplements interfere with skeletal muscle adaptation to exercise training?

Merry TL, Ristow M. J Physiol. 2016 Sep 15;594(18):5135-47. doi: 10.1113/JP270654. Epub 2016 Jan 18. PMID: 26638792 Review.



El músculo como fuente de juventud

- Mejor regulación de glucosa
- Mejor función cognitiva (BDNF)
- Mejor salud ósea
- Mejor supervivencia en cáncer
- Mejor sensibilización a la insulina
- Mayor gasto energético
- Alargamiento de los telómeros



Meta-análisis de estudios prospectivos en humanos

	ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES	DIABETES TIPO II	CÁNCER	INFLAMACIÓN OTRAS
Actividad física aeróbica	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Mortalidad ↓ Eventos coronarios ↓ Ictus ↓ Insuficiencia cardiaca Perfil lipídico: ↑ HDL-C, ↓ triglicéridos Presión arterial: ↓ PAS/PAD 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Incidencia 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Mortalidad ↓ Incidencia: colon, esófago, estómago, mama, endometrio, pulmón (no fumadores), renal, páncreas, hígado (no fumadores) 	<ul style="list-style-type: none"> Neurodegenerativas: ↓ Deterioro cognitivo ↓ Demencia ↓ Alzheimer Otras: ↓ Depresión ↓ Enfs. inflamatorias intestinales (UC, CD) ↓ Asma Marcadores inflamación: ↓ Proteína C-reactiva, ↓ IL-6, ↓ fibrinógeno



Gracias!



FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

1 - DIAPO 15 - German Clénin, Mareike Cordes, Andreas Huber, Yorck Olaf Schumacher, Patrick Noack, John Scales, Susi Kriemler (2015 Oct 29) **Iron deficiency in sports - definition, influence on performance and therapy.** Review Swiss Med Wkly. 145:w14196. doi: 10.4414/smw.2015.14196. eCollection 2015.

2 – DIAPO 15 - [Martin J. MacInnis](#)^{1,*} and [Martin J. Gibala](#) 2017 May 1 **Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity.** *J Physiol.* 595(9): 2915–2930. Published online 2016 Dec 7. doi: [10.1113/JP273196](https://doi.org/10.1113/JP273196)

3 – DIAPO 23 - Ne N. Wu,^{1,2,†} Haili Tian,^{3,†} Peijie Chen,³ Dan Wang,⁴ Jun Ren,^{1,2,*} and Yingmei Zhang^{1,2,*} **Physical Exercise and Selective Autophagy: Benefit and Risk on Cardiovascular Health.** *Cells.* 2019 Nov; 8(11): 1436. Published online 2019 Nov 14. doi: 10.3390/cells8111436

8 – DIAPO 26 - [Edward J Calabrese](#)¹ **Hormesis: Path and Progression to Significance.** *Int. J. Mol. Sci.* 2018, 19(10), 2871; <https://doi.org/10.3390/ijms19102871>

5 – DIAPO 26 - Mark P Mattson. **Hormesis defined.** Review *Ageing Res Rev.* 2008 Jan;7(1):1-7. doi:10.1016/j.arr.2007.08.007. Epub 2007 Dec 5.

6 – DIAPO 26 - Zsolt Radak¹, Hae Young Chung, Sataro Goto. **Systemic adaptation to oxidative challenge induced by regular exercise.** Review *Free Radic Biol Med.* 2008 Jan 15;44(2):153-9. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2007.01.029. Epub 2007 Jan 23.

7 – DIAPO 26 - [Simona Gradari](#), [Anna Pallé](#), [Kerry R. McGreevy](#), [Ángela Fontán-Lozano](#), and [José L. Trejo](#)^{*} **Can Exercise Make You Smarter, Happier, and Have More Neurons? A Hormetic Perspective.** *Front Neurosci.* 2016; 10: 93. Published online 2016 Mar 14. doi: [10.3389/fnins.2016.00093](https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00093)

9 – DIAPO 29 - [Bryant H. Keirns](#), [Nicholas A. Koemel](#), [Christina M. Sciarrillo](#),. **Exercise and intestinal permeability: another form of exercise-induced hormesis?** *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 2020 Oct 1;319(4):G512-G518. doi: 10.1152/ajpgi.00232.2020. Epub 2020 Aug 26. PMID: 32845171

10 – DIAPO 29 - [H Lee Sweeney](#), [David W Hammers](#) **Muscle Contraction.** DOI: [10.1101/cshperspect.a023200](https://doi.org/10.1101/cshperspect.a023200)

11 – DIAPO 30 - Michael Ristow¹, Kathrin Schmeisser. **Mitohormesis: Promoting Health and Lifespan by Increased Levels of Reactive Oxygen Species (ROS).** 2014 Jan 31;12(2):288-341. doi: 10.2203/dose-response.13-035.Ristow. eCollection 2014 May.

12- DIAPO 28 - Musci RV, Hamilton KL, Linden MA. **Exercise-Induced Mitohormesis for the Maintenance of Skeletal Muscle and Healthspan Extension.** *Sports (Basel).* 2019 Jul 11;7(7):170. doi: 10.3390/sports7070170. PMID: 31336753 Review